

フラクタル解析による札幌市街地の形状と成長過程に関する考察

著者	中原 宏
雑誌名	札幌市立大学研究論文集
巻	4
号	1
ページ	33-39
発行年	2010-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1261/00000063/

フラクタル解析による札幌市街地の形状と成長過程に関する考察

中 原 宏

札幌市立大学デザイン学部

抄録：人口減社会に移行し、今後、市街地の縮小化が予想されるわが国の都市において、市街地の成長過程と市街地形態に関する研究は重要である。本研究はフラクタル解析により、札幌市街地の成長過程と市街地形態の関係について明らかにしたものである。市街地の成長が緩やかな時期については、フラクタル次元は極めて小さく、市街地の形状も比較的単純である。これに対し、人口増加が著しく、市街地が大きくスプロールした 1970 年～1980 年についてはフラクタル次元は最大となり、市街地はより複雑な形状を呈している。その後、市街地拡大が沈静化すると市街地形状も徐々になめらかに変化していくことを明らかにした。また、「都市化度」と「市街化度」により札幌市街地のコンパクト性を分析すると、1960 年以降市街地は拡大化傾向を続けたが、その一方で市街地のコンパクト性も高まり続けてきた。近年は人口増加の鈍化に伴いコンパクト性の変化は小さく、空間的には DID (国勢調査「人口集中地区」) が市街化区域を、また DID 人口が総人口をそれぞれ充足する状態に到達していることが明らかとなった。さらに人口重心の分析により、人口重心の変遷はいわば市街地成長のベクトルの合成であり、市街地成長の大きさ・速度・方向を示すものであることを明らかにした。

キーワード：フラクタル解析、市街地形状、都市成長、市街地のコンパクト性、人口重心

I. 研究の背景・目的

近年、フラクタルやカオスなどの複雑系科学の重要性が認識され、これまで樹形や河川形状、神経細胞の電位のゆらぎ、さらには楽譜や建築物のデザインなどを対象とした研究^{1), 2)} が取り組まれ、成果を上げている。フラクタル解析の手法は不規則な事象や形状について、複雑さの度合いを定量的に計測することが可能であり、都市や地域を対象とする研究領域においても、都市景観や地形、街路網パターン、環境評価などの研究事例^{2), 3), 4), 5), 6)} が増えている。

しかしながら、都市の形態や地域構造、都市の成長過程への応用事例研究は極めて少ない状況にある。人口減社会に移行し、今後、市街地の縮小化が予想されるわが国の都市において、市街地の成長過程と市街地形態に関する研究は重要である。

そこで、本研究では第二次世界大戦後、全国的にも都市成長が極めて著しかった札幌市を対象として、市街地の形状の計測にフラクタル解析を応用し、都市成長過程における市街地の形状の変容を明らかにしたものである。

II. 研究方法

II-1 調査対象域および資料

札幌市街地については、「実質的な市街地」とされている国勢調査「人口集中地区」⁽¹⁾ (Densely Inhabited District, 以下 DID) をもって各国勢調査年次における「市街地」として定義した。

また、人口重心の分析で用いたデータの調査単位は札幌市統計区⁽²⁾ とした。資料として、1960～2005 年の国勢調査に係る札幌市統計区人口データ⁽³⁾ および DID 変遷図⁽⁴⁾ を用いた。

II-2 分析手法

1) 市街地のコンパクト性の分析

市街地の空間構造のコンパクト性を計測する指標としては以下の 3 つがあり、いずれも数値が大きくなるほどコンパクト性は高く、小さくなるほど拡散型に近づく⁽⁵⁾。

①都市化度：DID 人口/総人口×100 (%)

②市街地密度：DID 人口密度

③市街化度：DID 面積/市街化区域面積×100 (%)

本研究ではこれらの指標により札幌市街地のコンパクト性とその変容状況の分析を行った。

2) 人口重心

人口重心とは、ある地域を対象とし、その地域に分布

している居住人口の1人1人が同じ体重を持つと仮定して、物理学的に地域を平衡な位置に保つことのできる点のことである。この人口重心の変遷を分析することにより、地域の人口分布の状態や、変容の概要を容易に把握することができる。

なお、地球は球体のため三次元で重心を計算すべきであるが、通例は地上を二次元平面と仮定して以下の式で重心を求めている。

$$\Phi = \sum \omega_i \phi_i / \sum \omega_i$$

$$\Lambda = \sum \omega_i \lambda_i \cos \phi_i / \sum \omega_i \cos \phi_i$$

Φ：人口重心の緯度
Λ：人口重心の経度
φ_i：各ゾーン中心の緯度
λ_i：各ゾーン中心の経度
ω_i：各ゾーン人口

本研究では札幌市統計区を調査単位ゾーンとし、市街地内ゾーンについてはゾーンの中心を、非市街地ゾーンについては農地・山林を除く集落中心をゾーンの中心点として設定し、極力実態に近づける工夫をした⁽⁶⁾。

3) フラクタル解析

フラクタル次元とは図形の複雑さを表す指標であり、フラクタル次元が大きいほど対象図形は複雑に入り組んでいることを意味している。本研究ではフラクタル次元の算出にあたっては「ボックスカウンティング法」により行った⁽⁷⁾。

「ボックスカウンティング法」とは、対象図形を1辺の長さLの正方形のグリッド（3次元図形の場合は立方体のボックス）で覆い、図形が含まれるグリッド（ボックス）の個数N(L)を求めるものであり、1辺の長さを変化させたときに以下の関係式が成立する場合、Dをフラクタル次元と定義する。

$$N(L) = C \times L^{-D} \quad (C: \text{定数項})$$

上式の両辺に対数をとると、

$$\begin{aligned} \log(N(L)) &= -D \log(L) + \log(C) \\ &= -D \log(L) + K \quad (K: \text{定数項}) \end{aligned}$$

となる。そこで、グリッドの1辺の長さLを変化させて各々のN(L)を計測し、両対数軸のグラフで表示した後、最小自乗法でDとKの値を決定すると、その図形のフラクタル次元Dが求められる。

本研究では、札幌市のDIDの1960、1970、1980、1990、2000年の各年の形状について、ボックスカウンティング

法によるフラクタル解析を行った。また、グリッドの1辺の長さを、8 km, 4 km, 2 km, 1 km, 0.5 km, 0.25 kmの計6段階に変化させて計測を行った。

III. 結果

III-1 札幌市の人口と市街地の成長過程の概観

国勢調査データ（1920～2005年）に基づき札幌市の総人口および人口増加率の推移をみると（図1）、総人口は典型的な成長曲線（ロジスティックカーブ）を描いて増加してきている。とくに1960～1975年までの期間の人口増加が著しい。これには札幌の都市形成史上、最大の出来事である「1972年冬季五輪」が影響しており、この開催に向けた準備期間に地下鉄・地下街の建設をはじめ、都心部の再開発と都市基盤整備が大きく進められ、札幌の都市ポテンシャルが高まったためである。この結果、道内市町村の転出人口を吸収し、1970年に人口は100万人を超え、拠点都市へと移行した。その後、1980年からは人口増加傾向は鈍化し、徐々に増加率を下げながら緩やかな成長を続けている。

一方、これら人口の受皿である市街地の空間的変遷をDIDの推移により整理すると、図2⁽⁸⁾に示すようになる。1935年以前の市街地の成長は極めて緩やかである。その後、市街地は成長を続け、1960年には既成市街地（「環状通」の内側ゾーン）をほぼ形成するに至っている。

とくに成長が著しいのは1960～1975年までの期間であり、急増した人口と公共・民間による大規模住宅団地開発（表1）を背景に、市街地は飛び地を形成しながら加速度的に外周部に向かってスプロールしている。

しかし、近年の市街地の成長速度は鈍化している。また、現在の市街地は既に市街地の将来像である市街化区

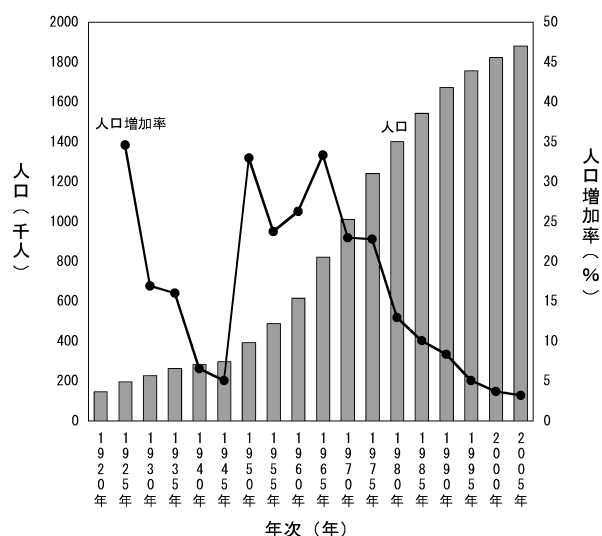


図1 札幌市の人口推移

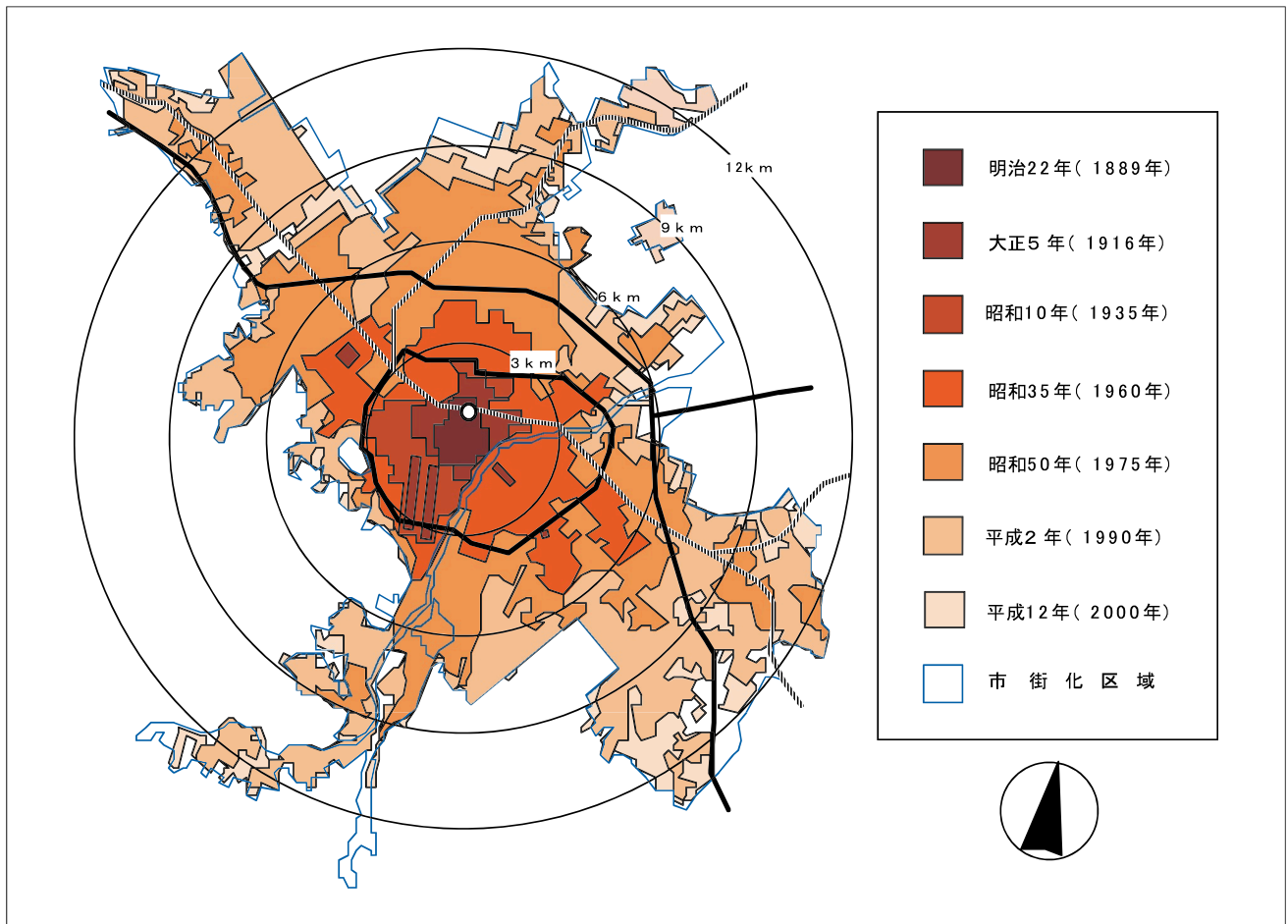


図2 札幌市街地の変遷 (1889～2000年)

表1 札幌圏の大規模住宅団地一覧

事業期間	団地名	開発規模		事業主体
		面積(ha)	計画人口(人)	
1959～1965	真駒内団地	167	20,000	北海道
1959～1965	ひばりヶ丘団地	30	5,000	札幌市
1962～1970	青葉町団地	69	12,000	札幌市
1965～1974	もみじ台団地	242	32,000	札幌市
1964～1971	大麻団地	215	27,000	北海道
1968～1976	北広島団地	441	31,000	北海道
1970～1979	花畔団地	232	23,600	北海道住宅供給公社
1974～	札幌東部地域・上野幌 ・平岡住宅団地他	1,265		民間
1975～	森林公園パークタウン	102	13,000	民間
1980～1994	あいの里	378	32,000	住宅・都市整備公団
1994～	グリーンピア篠路	72	5,900	札幌市

域をほぼ充足する様相を呈している。

III-2 市街地のコンパクト性の分析

DIDの面積および人口密度の推移をみると(図3)、1960年には50km²未満であったDID面積はその後人口増加にともない拡大化を続け、1990年には200km²を超えている。しかし、その後は人口増加が鈍化したこと

により、DID面積拡大傾向は沈静化している。

一方、DID人口密度は1960年当時100人/haを超えていたが、その後の急激なDID面積拡大にともないDID人口密度は低下し続けた。とりわけ1970～1975年での低下が顕著である。その後1980年以降、DID人口密度は安定し、ほぼ77～80人/haで推移している。

次に「都市化度」と「市街化度」の2指標の組み合わ

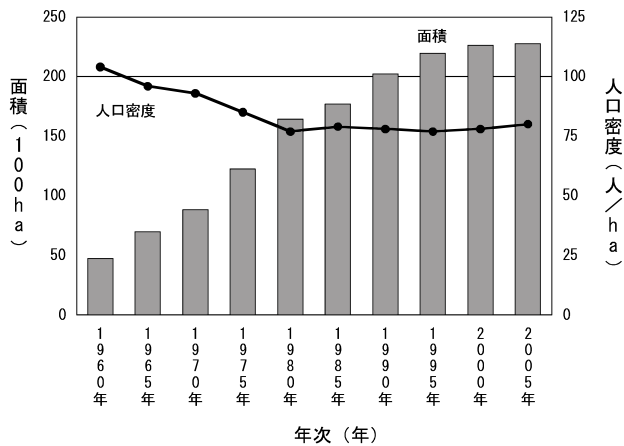


図3 DIDの面積・人口密度の推移

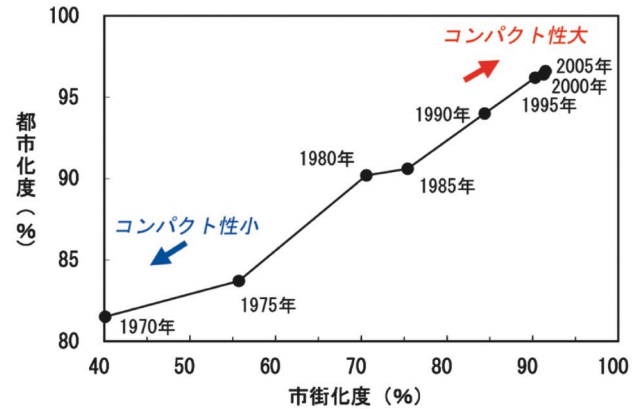


図4 札幌市街地のコンパクト性の推移

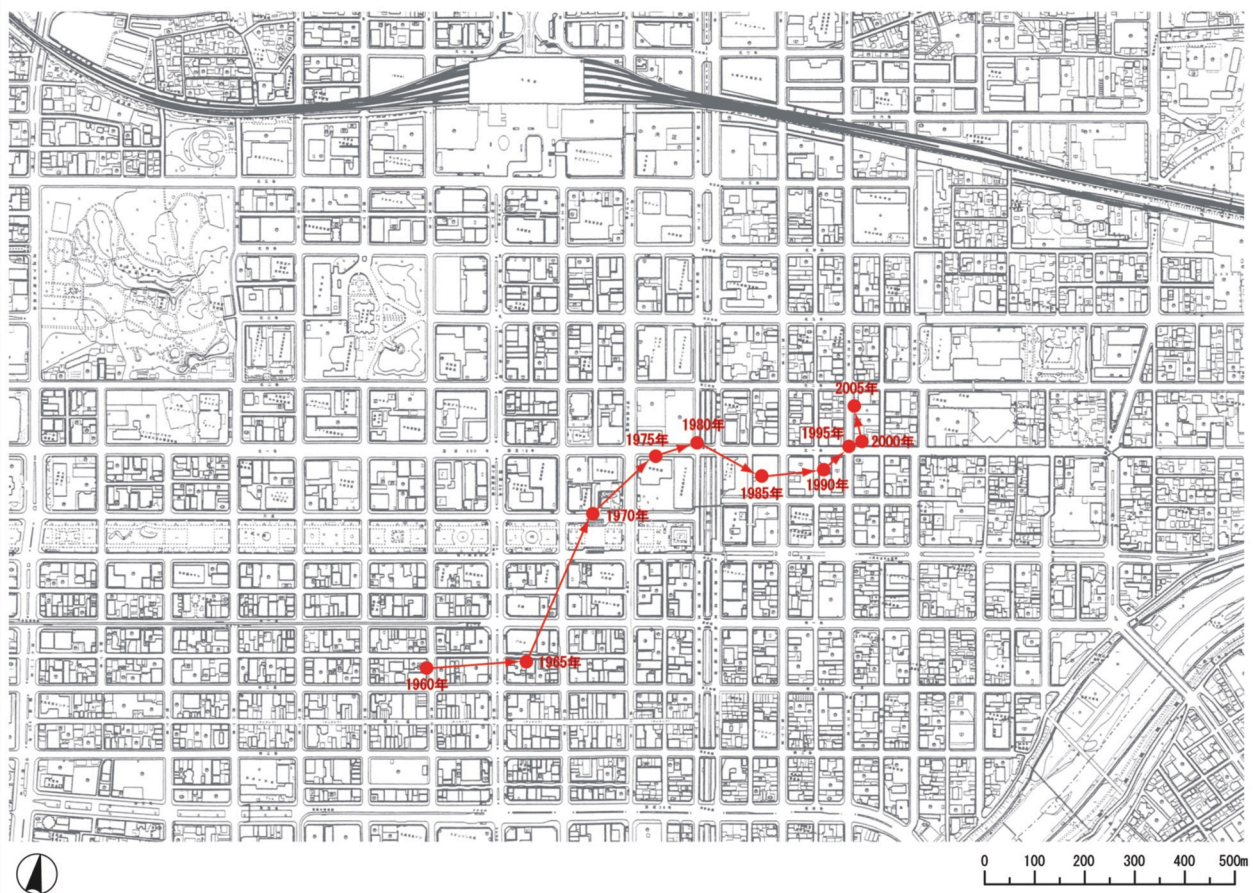


図5 人口重心の変遷 (札幌市 1960～2005年)

せて札幌市街地のコンパクト性を分析すると、1970年ではコンパクト性は低いですが、その後、両指標ともに増加し続け、コンパクト性が高まり続けていることが明確である(図4)。1995年以降は変化が極めて小さい。

III-3 札幌市の人口重心の変遷

札幌市の1960～2005年についての5年毎の人口重心の変遷を図5に示す。札幌市の人口重心は1960年当時、中央区南2条西5丁目付近に位置していたが、その後、

1965～1975年にかけて北東方向へ大きく移動している。これは前述のように同期間の人口増加が最も著しかったことに伴う変化の表出であると考えられる。

1980年以降は創成川を東に越え、緩やかに東進が続いている。これは「札幌東部地域」(清田区平岡地区)の住宅地開発にともなう人口増加の影響によるものと考えられる。1990年以降は「あいの里」「篠路地区」の住宅地開発・整備を背景に、北東方向に移動するとともに、2005年にはやや北西方向に向きを変えた。

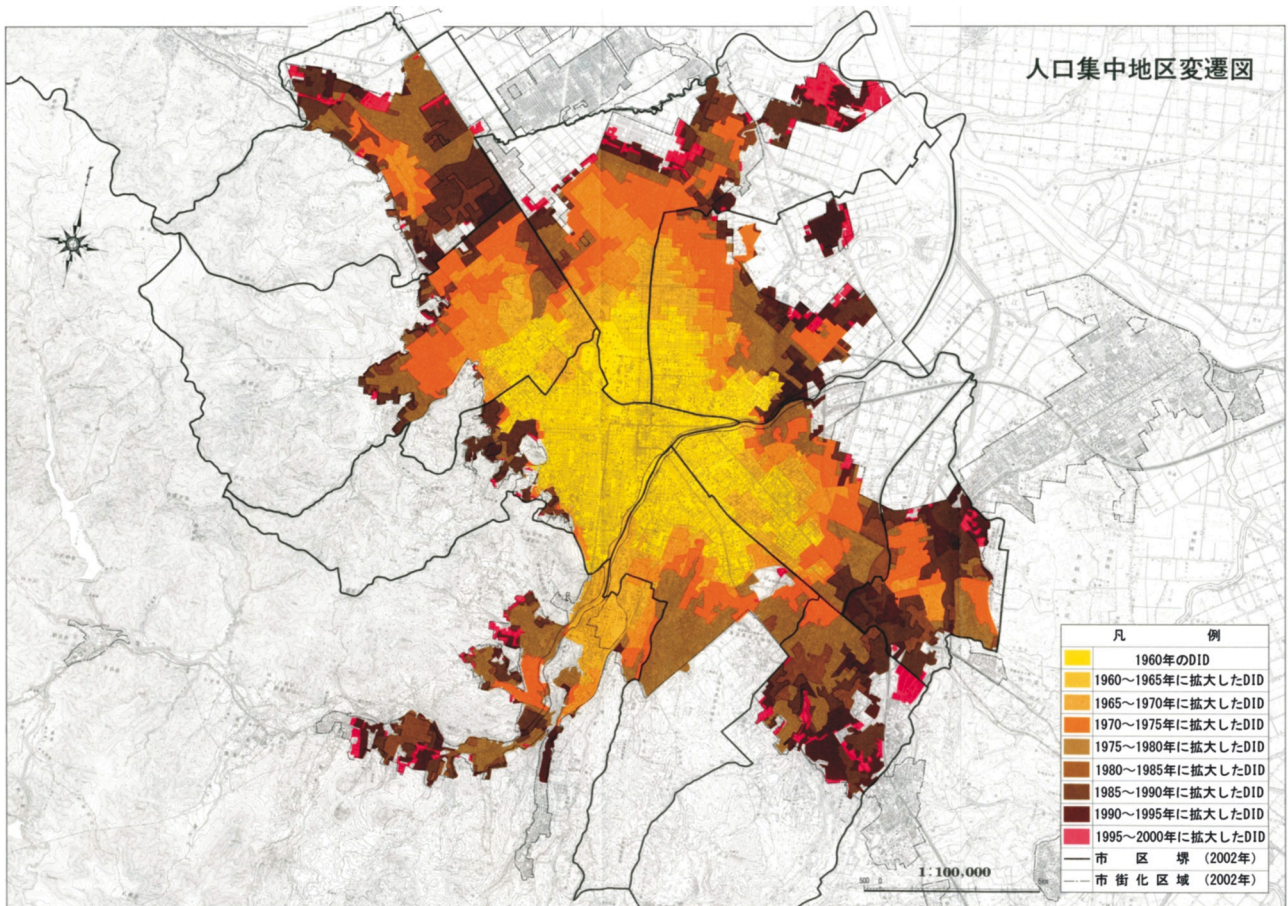


図 6 DID 変遷図 (1960～2000 年)

III-4 市街地形状のフラクタル解析

札幌市街地の形状の変容をとらえるため、1960, 1970, 1980, 1990, 2000 年の DID の形状 (図 6) についてフラクタル解析を行い、フラクタル次元を求めた (図 7～11)。図中の L はボックスカウンティング法のグリッドのサイズ、 $N(L)$ は計測した DID 形状の含まれるグリッドの個数である。

分析の結果、各年のフラクタル次元は 1.117 (1960 年)、1.140 (1970 年)、1.313 (1980 年)、1.283 (1990 年)、1.271 (2000 年) である。このことから、市街地の規模が小さく、成長が緩やかであった 1960 年はフラクタル次元が最も小さく、市街地の形状も比較的単純であることを意味している。

これに対し、人口増加が著しく、市街地が大きくスプロールした 1970～1980 年についてはフラクタル次元は最大となり、市街地の形状の変容は著しく、より複雑な形状を呈しながら拡大化を続けたことが読みとれる (図 12)。

1990 年以降、フラクタル次元は低下する傾向にあり、市街地拡大が沈静化し、市街地形状も徐々になめらかに変化していることがわかる。

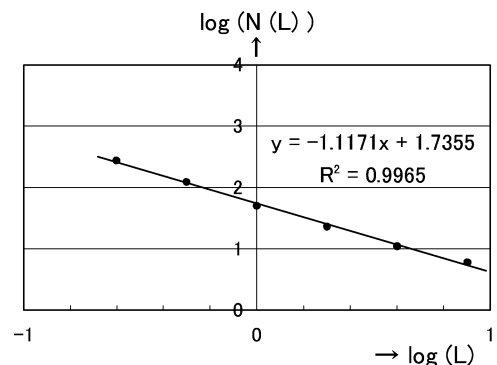


図 7 DID 形状のフラクタル解析 (1960 年)

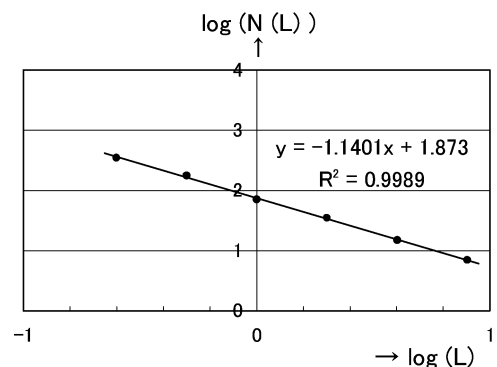


図 8 DID 形状のフラクタル解析 (1970 年)

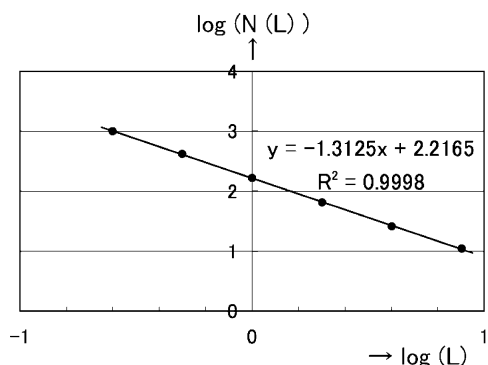


図9 DID形状のフラクタル解析(1980年)

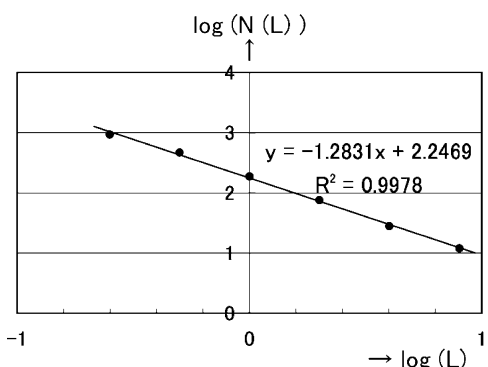


図10 DID形状のフラクタル解析(1990年)

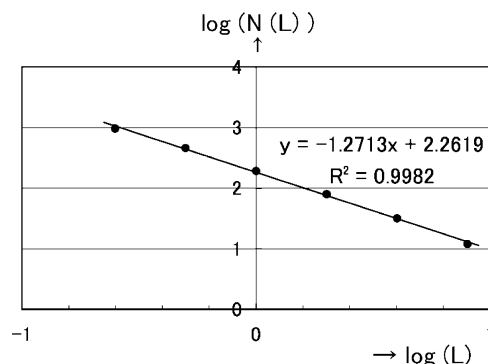


図11 DID形状のフラクタル解析(2000年)

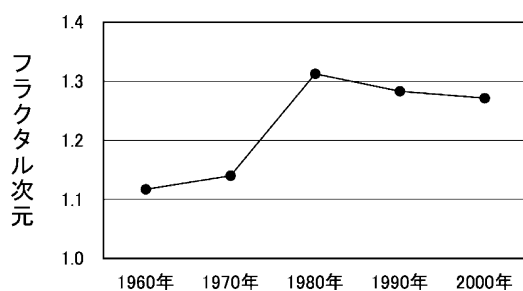


図12 DID形状のフラクタル次元の推移

IV. 考察とまとめ

本研究は市街地の形態の計測にフラクタル解析を応用し、都市成長過程における市街地の形態の変容を明らかにしたものであり、分析結果から得られる知見は以下のとおりである。

札幌市の総人口は成長曲線を描いて増加してきたが、近年、人口増加傾向は鈍化し、徐々に増加率を下げながら緩やかな成長を続けている。また、人口の空間的投象である市街地は人口増加に対応して成長してきた。とりわけ成長が著しいのはスプロール期の1975年前後の期間である。近年の市街地の成長速度は鈍化し、現在の市街地は既に市街地の将来像である市街化区域をほぼ充足する様相を呈している。

DID人口密度は市街地スプロール期(1965～1975年)には低下し続けたが、その後安定して推移している。「都市化度」と「市街化度」により札幌市街地のコンパクト性を分析すると、市街地コンパクト性は高まり続け、近年は人口増加の鈍化に伴い変化は小さく、空間的にはDIDが市街化区域を、またDID人口が総人口をそれぞれ充足する状態に到達していることが明らかとなった。

人口重心の分析により人口重心の変遷を明らかにしたが、これはいわば市街地成長のベクトルの合成であり、札幌市の市街地成長の大きさ・速度・方向を示すものである。この意味から、人口重心が移動することは、人口増減が市街地内で等質ではないことに加え、全方向に同心円状に市街地が成長しないことを明示している。

さらに、フラクタル解析により、市街地の成長過程と市街地形態の関係について明らかにした。市街地の成長が緩やかである場合、フラクタル次元は極めて小さく、市街地の形状も比較的単純である。これに対し、人口増加が著しく、市街地が大きくスプロールした時期についてはフラクタル次元は最大となり、市街地はより複雑な形状を呈するとともに、市街地拡大が沈静化すると市街地形状も徐々になめらかに変化していくことが把握できた。

また、本研究を通して、フラクタル解析による都市構造把握の可能性が確認できた点は意義深い。本研究では市街地の形状についての分析を行ったが、市街地内部は均質ではないことから、人口密度等値線図や、都市機能(土地利用)の分布状況についてのフラクタル解析も今後行う予定である。併せて、本研究で用いたボックスカウンティング法はボックスの位置によりフラクタル次元の値に差異が生じる可能性もあるため、今後検証を行う予定である。

注

- (1) 人口集中地区 (DID) とは国勢調査「調査区」を基礎単位地域とし、人口密度 40 人/ha 以上の調査区が隣接するとともに、人口 5,000 人以上の地域であり、総務省統計局が設定する。実質的な「市街地」に相当する。
- (2) 札幌市では小地域別データの集計単位として、全市域を統計区および準統計区の計 206 ゾーンに区分し、国勢調査をはじめとする各種統計のデータベースを構築している。
- (3) 参考文献 7), 8), 9), 10) のデータに基づく分析。
- (4) 参考文献 7) の「人口集中地区変遷図」を利用した。
- (5) 参考文献 11), 12) 参照。筆者は参考文献 12) において、全国の人口 100 万人以上の政令市を対象に市街地のコンパクト性の分析を行い、札幌市のコンパクトシティ化の可能性と方向性を探っている。
- (6) 本研究以外に、参考文献 8), 13) において人口重心の分析を行っているものの、調査単位ゾーンの設定や、単位ゾーンの中心設定が明らかにされておらず、変遷パターンは類似しているが、各期の人口重心はかならずしも一致しない。
- (7) フラクタル次元の計測方法としてはボックスカウンティング法をはじめ、スケール変換法、カバー法、密度相関関数法などがあるが、ボックスカウンティング法は地形や複雑な曲線のフラクタル次元の計測に広く適用される手法であることから、本研究でも同手法を適用した。
- (8) 各年の市街地は国勢調査「わが国の人口集中地区」に基づいているが、1935 年以前は古地図により作成している (参考文献 12) 参照)。

引用文献

- 1) 日本建築学会編：複雑系と建築・都市・社会：技法堂出版、2006

- 2) 三井直樹・三井英樹：建築とデザインのフラクタル幾何学：鹿島出版会、1997
- 3) 水野節子・掛井秀一：都市街路形態のフラクタル解析。日本建築学会計画系論文報告集第 414 号：pp 103-108, 1990
- 4) 大野博之：自然物の分布様式による環境評価の試み。土木学会論文集 No.664/VII-17：pp 119-126, 2000
- 5) 和栗健・前田義信・牧野秀夫：道路網のフラクタル次元に関する基礎研究。電子情報通信学会信越支部大会講演論文集 7 D-3：pp 271-272, 2005
- 6) 三原慎弘・田口史雄・須田清隆：フラクタルを用いた都市部における耐候性鋼材の景観面の適用性に関する考察。寒地土木研究所月報 No.643：pp 15-24, 2006

参考文献

- 7) 札幌市市民まちづくり局企画部：札幌市の人口と住宅——平成 12 年国勢調査結果報告書——：2002
- 8) 札幌市市民まちづくり局企画部：札幌市の人口と住宅——平成 17 年国勢調査結果報告書——：2007
- 9) 札幌市企画調整局企画部：札幌市の地域構造——平成 6 年度地域統計報告書——：1994
- 10) 札幌市企画調整局企画部：札幌市の地域構造——平成 16 年度地域統計報告書——：2005
- 11) 佐保肇：中小都市における都市構造のコンパクト性に関する研究。日本都市計画学会学術研究論文集 NO.33：pp 73-78, 1998
- 12) 中原宏：人口の地域構造分析よりみたコンパクトシティ形成に関する研究。札幌市立高等専門学校紀要 第 16 号：pp 43-48, 2007
- 13) 日本経済新聞社編：日経都市シリーズ 札幌：pp 27-28, 日本経済新聞社、1995